第 37 卷第 8 期　　生　态　学　报　　Vol.37,No.8
2017 年 4 月　　ACTA ECOLOGICA SINICA　　Apr.,2017

DOI: 10.5846/stxb201510232141

付刚,肖能文,乔梦萍,齐月,闫冰,刘高慧,高晓奇,李俊生.北京市近二十年景观破碎化格局的时空变化.生态学报,2017,37(8):2551-2562.

Fu G, Xiao N W, Qiao M P, Qi Y, Yan B, Liu G H, Gao X Q, Li J S.Spatial-temporal changes of landscape fragmentation patterns in Beijing in the last two decades.Acta Ecologica Sinica,2017,37(8):2551-2562.

北京市近二十年景观破碎化格局的时空变化

付　刚[1,2],肖能文[2],乔梦萍[1],齐　月[2],闫　冰[2],刘高慧[2],高晓奇[2],李俊生[2,*]

1 中国人民大学环境学院, 北京　100872

2 中国环境科学研究院, 北京　100012

摘要:基于 1993—2013 年 3 期时间序列的遥感影像获得的一、二级景观类型的土地覆盖数据,利用移动窗口法和空间主成分分析法研究景观破碎度空间分布格局和破碎化过程。结果表明:北京市正处于快速城市化阶段,20 年间其建设用地面积增加了 1000.8 km^2,增长 47.14%,而耕地面积减少 21.86%;全市破碎化程度增加,其中,景观斑块总数增加了 15.26%,而景观斑块的平均面积缩小了 15.35%,景观形状指数(LSI)从 88.426 增加到 98.897;北京市景观破碎化格局的空间异质性较大,但没有方向性偏好,却表现了"两极化"发展趋势,其中,高破碎化区域和低破碎化区域的面积增加,中等破碎化的区域面积减少,核心大城区和山区的景观破碎度降低,而新兴城区和郊区的景观破碎度增大;北京市景观破碎化格局的距离效应显著,呈现倒"U"型二次函数关系,其中,2013 年的破碎度距离函数为:$Y_3=0.1767+0.02898X_3-0.0005167X_3^2$,距城市中心 20—35 km 处的城郊交错区景观破碎化程度最高。景观破碎化格局的分析有助于了解大城市快速发展阶段的景观格局演变规律,为城市生物多样性保护、绿地廊道维护和生态文明城市建设提供理论依据。

关键词:城市化;异质性;景观破碎化;空间主成分分析;移动窗口法

Spatial-temporal changes of landscape fragmentation patterns in Beijing in the last two decades

FU Gang[1,2], XIAO Nengwen[2], QIAO Mengping[1], QI Yue[2], YAN Bing[2], LIU Gaohui[2], GAO Xiaoqi[2], LI Junsheng[2,*]

1 *School of Environment and Natural Resources*, *Renmin University of China*, *Beijing* 100872, *China*

2 *Chinese Research Academy of Environmental Sciences*, *Beijing* 100012, *China*

Abstract: Landscape fragmentation is a major factor for ecological and environmental degradation, and it has serious impacts on rapidly urbanized regions. Over the last 20 years, urbanization in Beijing has substantially changed the surface landscape, and deeply influenced the landscape heterogeneity. However, much of the current research on the landscape fragmentation in Beijing City has focused primarily on simple landscape indexes, and only a few studies have investigated the complexity and dynamics of fragmentation characteristics on the temporal and spatial patterns. Therefore, the combined use of remote sensing-based technology to classify land use cover, employing the moving windows method of landscape metrics, and the spatial principal components analyses method have provided an useful comprehensive understanding of the spatial-temporal characteristics and changes in landscape fragmentation patterns. In this study, we were mainly concerned with landscape fragmentation during the rapid urbanization in Beijing City, throughout 1993, 2003 and 2013 based on RS and GIS. The LUCC results, which were obtained from Landsat TM/ETM, have been divided into two grades, including six classes in first grade and 19 classes in second grade. We have fully integrated the two grades of LUCC results to analyze

基金项目:北京市财政资金项目(PXM2014-178218-000005)

收稿日期:2015-10-23;　　**网络出版日期**:2016-10-19

* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: lijsh@ craes.org.cn

landscape fragmentation, combined with the moving windows method and the spatial principal components analyses method. Additionally, we use transfer-matrix and distribution pattern maps to describe the course of urbanization in Beijing City. Based on the results of our study, we concluded that, there were many changes in landscape structure and pattern during the rapid urbanization in Beijing, and the dominant change was construction land, which increased by 47.16%. At the same time, farmland area has decreased by 21.86%. Landscape fragmentation indices also changed over time during this stage, the landscape patch number was increased from 20,986 to 24,765, the average area of landscape patches has reduced by 15.35%, landscape connectivity index (CONNECT) has decreased from 0.1316 to 0.1271, and landscape shape index (LSI) has increased from 88.426 to 98.897. This indicates that, in the process of rapid urbanization, landscape fragmentation has increased in Beijing City. The spatial distribution fragmentation pattern revealed substantial heterogeneity and complexity, which primarily has the following outcomes: a polarizing trend, in which locations show increased dissimilarity. The fragmentation index of urban center and mountainous regions has continued to decrease, but the fragmentation index of emerging urban and suburban regions has increased. The gross area of high fragmentation and low fragmentation has expanded. We find that urbanization is the main factor in the change of landscape fragmentation patterns, and the dramatically changed region lies in the urban-rural ecotone, where construction land has rapidly increased. There was hardly a directional preference in the fragmentation pattern. However, it has a distinct distance effect; the landscape fragmentation index first increases with increasing distance, and then decreases in an inverted "U" type function. Also, the landscape fragmentation showed a " layer ring structure " model for urban development in Beijing. The landscape fragmentation index reaches a maximum when the distance at range of 20 to 35 km. This study could provide both reference and guidance for land use management and ecological environment protection for rapidly developing areas. Also, the multifaceted research approach toward landscape patterns and their ecological processes must be explored.

Key Words: urbanization; heterogeneity; landscape fragmentation; spatial principal components analyses; moving windows method

人类各种社会活动的加剧对土地覆盖和景观格局产生了剧烈的影响[1]。随着城市化进程的加快,尤其是城市的无序化发展,城市和城市附近的景观呈现出"高度破碎化"和"景观空间异质性显著"的特征[2],致使原本自然景观由连续的地带性分布变为不连续的混合斑块镶嵌体,造成自然生境破碎、乃至生物栖息地丧失,严重影响城市生物多样性[3],不利于城镇化的可持续发展[4]。目前我国正处于城镇化进程中,城市扩张所引起的土地覆盖/土地利用方式的改变,会引发景观格局的强烈变动[5],生物生境也因城市化而呈现高度的破碎性[6],城市景观破碎化格局能反映出生物生境和廊道的质量状况[7]、进而影响生物多样性格局[8-9]和生态系统服务[10]。因此,进行城市破碎化格局的时空演变分析,有助于城市生物多样性的保护和生态城市的建设[11-12]。

破碎化是城市化进程中景观格局演变的重要特征[13],国内外学者发展了大量的景观指数进行定量表征[14-15],马克明、傅伯杰等也对北京部分地区的破碎化格局进行了研究[16-17],在另外一些的北京市景观格局的研究中也涉及了破碎化的内容[18-21],但这些研究多数未能以破碎化为核心主题进行重点分析,尤其对于破碎化格局的格局特征缺乏梳理,本文在以往研究的基础上,基于多时相遥感数据的两级景观类型分类数据,结合移动窗口法和空间主成分分析法方法,定量探讨快速城市化背景下北京市景观破碎化的时空特征,揭示其时空演变规律。

1 研究区概况

北京市位于华北平原北部,地跨 115°25′—117°30′E,39°28′—41°05′N,总面积 16410.54 km^2,平均海拔 43.5 m,其中最高海拔达 2303 m,最低海拔仅 10 m,地势为西北高,东南低,西部和北部分属太行山山脉和燕

山山脉,东南部属华北平原;气候属于暖温带半湿润大陆性季风气候,多年平均气温约 12.3 ℃,多年平均降雨 400—600 mm,适合暖温带地带性生物生存繁衍。北京市作为中国的首都,也是一座国际化的大都市,根据中国统计年鉴,截止到 2012 年北京市城区面积扩大到 12187 km^2,北京市常住人口从 1456.4 万人增加至 2013 年的 2114.8 万人,GDP 总量也从 2003 年的 5007.21 亿元增长到 2013 年的 19500.6 亿元。

2　研究方法

2.1　数据来源和处理

遥感数据源为北京市 1993 年、2003 年和 2013 年 3 个时段的 Landsat-TM/ETM 卫星遥感影像,利用 ENVI5.0 进行图像预处理,根据我国多个遥感监测土地利用/覆盖分类体系的《土地利用现状分类 GB/T 21010—2007》和欧阳志云等人的对全国生态系统分类体系[22]并结合北京地区的特点,依据自然属性和人为利用方式将土地覆盖类型划分为 6 个一级景观类型:耕地、林地、草地、水域和湿地、建设用地和未利用地,以及 19 个二级景观类型。抽取 150 个检验点对 3 期遥感影像的分类结果进行精度检验,其 Kappa 系数都达到了 0.80 以上(表 1),符合研究要求。

表 1　一级景观类型分类结果精度检验情况

Table 1　Accuracy inspection table of first grade landscape class results

年份 Year	1993	2003	2013
总精度 Total accuracy/%	84.000	84.667	83.333
Kappa 系数 Kappa coefficient	0.807	0.817	0.801

2.2　景观格局指数

为了衡量北京市 20 a 来的景观格局变化情况,选取以下几个景观指数:斑块数量(*NP*)、平均斑块面积、景观形状指数(LSI)、连接度指数(CONNECT)、分离度指数(DIVISON)、聚合度指数(*AI*)和 Shannon's 多样性指数(SHDI)[23]。

2.3　空间主成分分析法

空间主成分分析是在地理信息系统中,通过空间坐标轴的旋转,将各空间的多变量数据转换为少数几个综合指标[24],并给出各新主成分及其贡献率。利用空间主成分分析能够高度保留空间信息[25],由于每个空间变量为空间二维栅格矩阵数据,所以空间主成分分析法常在 ArcGIS 等空间数据计算平台中进行分析。

2.4　景观破碎化指标

采用移动窗口空间分析法研究北京全市的景观空间分布格局,研究表明当移动窗口为 2 km×2 km 时能更好的反映出城市景观破碎格局的情况[26],利用 Fragstates 3.4 的移动窗口模块,建立 2 km×2 km 的矩形窗口,以窗口为基本分析单元,将计算得到景观指数赋予窗口中心栅格,并从影像图像的左上方栅格依次移动窗口进行计算得到景观指数空间分布格局[27]。

在 ArcGIS 10.0 平台下,选取 4 个能反映出景观破碎方面的指标:景观聚合度(*AI*)指数、景观分离度(DIVISION)指数、景观斑块密度(*PD*)指数和景观丰富度(PRD)指数,分别利用移动窗口法计算其景观一级和二级分类类型数据下的景观指数,并将各景观指数进行无量纲标准归一化处理,然后利用空间主成分分析法将各时间段的 8 个数据进行空间主成分计算主成分及贡献度,选择累积贡献度大于 97%的主成分,并按各空间主成分的权重,在 ArcGIS 10.0 的加权总和模块中合成各期景观破碎度,之后将其进行极差法标准化处理,得到北京市破碎度指数。并以此数据为基础,在 ArcGIS 10.0 中计算得到不同时间阶段的景观破碎化格局的变化幅度数据。

以北京中轴线和长安街交点为中心点,建立 8 个方向的 4 条样线,分析景观破碎化的时空演变关系。建立覆盖北京全市的空间网点矩阵(点间隔为 1 km,共 15327 个点),提取景观数据至网点矩阵中,然后利用 ArcGIS10.0 的空间分析模块和 SPSS20 分析景观指数的空间关系。

3 结果与分析

3.1 北京市土地覆盖和景观指数的时空变化特征

由图 1、表 2 可知,20 a 间北京市发生显著的城市化现象,核心城市规模扩大,建设用地显著增加,耕地大幅减少,其中,建设用地面积增加 1000.8 km^2,增加了 47.14%;耕地和建设用地的变化程度最大,草地和未利用土地面积变化不大,其中林地面积减少了 169.79 km^2,减少 1.73%;水域和湿地减少幅度最大,减少了 125.38 km^2,减少 24.14%;耕地面积减少了 787.93 km^2,减少 21.86%。

表 2 北京市一级景观类型土地覆盖面积变化情况

Table 2 Land cover of first grade landscape classes in Beijing City

年份 Year	耕地/km^2 Farmland	林地/km^2 Woodland	草地/km^2 Grassland	水域和湿地/km^2 Waters and Wetlands	建设用地/km^2 Construction Land	未利用土地/km^2 Unutilized Land
1993	3605.02	9788.82	332.49	519.2	2123	48.71
2003	3105.23	9630.64	276.11	408.57	2920.44	76.23
2013	2816.92	9619.09	409.03	393.86	3123.85	54.49

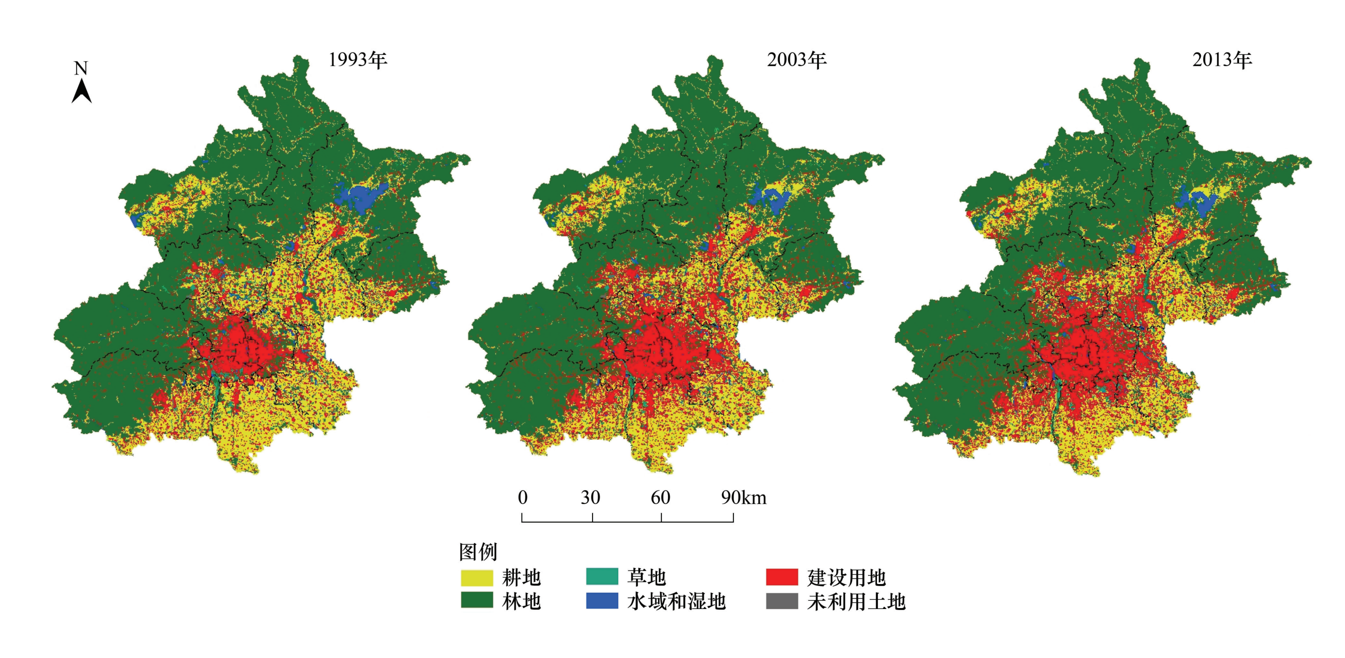


图 1 北京市一级景观类型分布格局

Fig.1 Distribution patterns of first grade landscape classes in Beijing City

北京市一级景观类型的土地覆盖转移矩阵(表 3),显示:1993—2003 年 498 km^2的耕地转变为建设用地,而同期 10.96%的水域和湿地转变为耕地;2003—2013 年建设用地的土地增加依旧显著,其中耕地和林地转为建设用地的土地面积最大,分别为 194、64.689 km^2。结合景观类型分布图(图 1),20 年间城郊地区的耕地成片转为建设用地,密云水库的周边湿地和水域大幅转为耕地,且前 10 a 的变化幅度大于后 10 a。总体而言,北京市快速城市化过程中在土地利用和景观覆盖上主要变化是城郊耕地转变为建设用地,湿地转变为耕地和建设用地,建设用地快速持续扩张。

表 4 显示:全市斑块总数增加了 15.26%;景观形状指数(LSI)也从 88.426 增加到 98.897;景观斑块的平均面积缩小了 15.35%;景观斑块之间的连接性降低等,说明北京市景观格局呈现破碎化发展的趋势。

3.2 北京市景观破碎化时空格局变化特征

利用 ArcGIS 10.0 的空间主成分分析法得到的 8 个景观指标的主成分结果如下(表 5)。

表 3　北京市 1993 年到 2003 年一级景观类型土地覆盖转移矩阵

Table 3　The transfer-matrix of first grade landscape classes in Beijing City

年份 Year	景观类型/km^2 Landscape types	耕地/km^2 Farmland	林地/km^2 Woodland	草地/km^2 Grassland	水域和湿地/km^2 Waters and wetlands	建设用地/km^2 Construction land	未利用地/km^2 Unutilized land
1993—2003	耕地	3038.133	28.599	21.783	12.281	498.000	5.531
	林地	2.169	9572.703	9.684	5.148	194.926	4.705
	草地	0.294	1.264	220.401	8.183	89.449	13.188
	水域和湿地	56.887	21.114	17.294	381.789	35.674	6.513
	建设用地	7.021	7.320	5.437	1.005	2102.072	0.087
	未利用地	0.110	0.325	1.854	0.215	0.000	46.170
2003—2013	耕地	2791.108	53.341	55.171	6.335	194.796	3.863
	林地	8.129	9542.888	11.488	2.310	64.689	1.821
	草地	2.268	1.624	234.838	9.526	26.636	1.562
	水域和湿地	7.413	4.882	10.945	364.006	19.705	1.670
	建设用地	6.686	14.873	79.335	1.999	2816.159	1.068
	未利用地	0.791	1.939	17.499	9.720	1.754	44.492

表 4　北京市全市景观水平的景观指数

Table 4　Landscape index of the whole city landscape level in Beijing City

年份 Year	斑块数量/个 *NP* (Number of Patches)	平均斑块面积/km^2 AREA (Mean Patch Area)	景观形状指数 LSI (Landscape Shape Index)	连接度指数 CONNECT (Connect Index)	分离度指数 DIVISION (Division Index)	聚合度指数 *AI* (Aggregation Index)	Shannon′s 多样性指数 SHDI(Shannon′s Diversity Index)
1993	20986	0.782	88.426	0.1316	0.791	95.967	1.111
2003	22482	0.730	92.455	0.1298	0.790	95.778	1.121
2013	24765	0.662	98.897	0.1271	0.796	95.476	1.131

表 5　空间主成分分析的各主成分的特征值、比值及权重

Table 5　Percent and accumulative eigenvalues

年份 Year	主成分 PC Layer	PC 1	PC 2	PC 3	PC 4	PC 5
1993	特征值	0.1155	0.01987	0.0111	0.0059	0.0023
	特征值比值/%	73.08	12.575	7.023	3.67	1.466
	权重 /%	74.692	12.852	7.178	3.751	1.498
2003	特征值	0.1546	0.0177	0.0011	0.0005	0.0002
	特征值比值/%	81.401	9.323	5.695	2.644	0.9368
	权重 /%	81.401	9.323	5.695	2.644	0.9368
2013	特征值	0.2017	0.02	0.0065	0.0019	0
	特征值比值/%	87.659	8.694	2.829	0.818	0
	权重 /%	87.659	8.694	2.829	0.818	0

1993—2013 年 3 期北京市景观破碎度指数的空间分布格局(图 2)显示:北京市景观破碎度最大区域主要位于中心城区的城郊,北京市西、北部山区的景观破碎度较低;1993-2013 年山区林地和核心大城区的景观破碎度呈现降低趋势。从整体上看,北京市景观破碎化格局空间异质性和复杂性较高。

另外,景观破碎度的时间变化上显示(图 3):20 a 间北京核心城市区域内景观破碎度指数降低,而城郊交错区的景观破碎化加剧;密云水库周边区域景观破碎度指数大幅增加,其变化可能是由于湿地衰退和耕地入

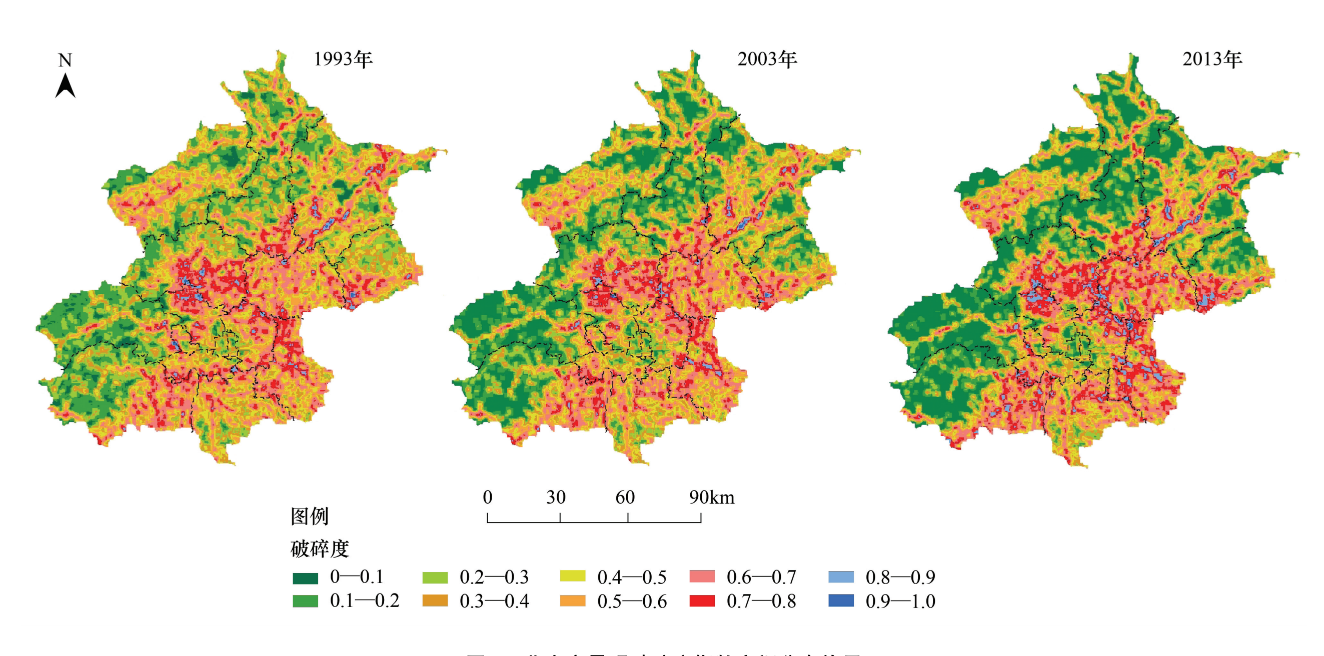


图 2 北京市景观破碎度指数空间分布格局

Fig.2 Spatial patterns distribution of landscape fragmentation index in Beijing City

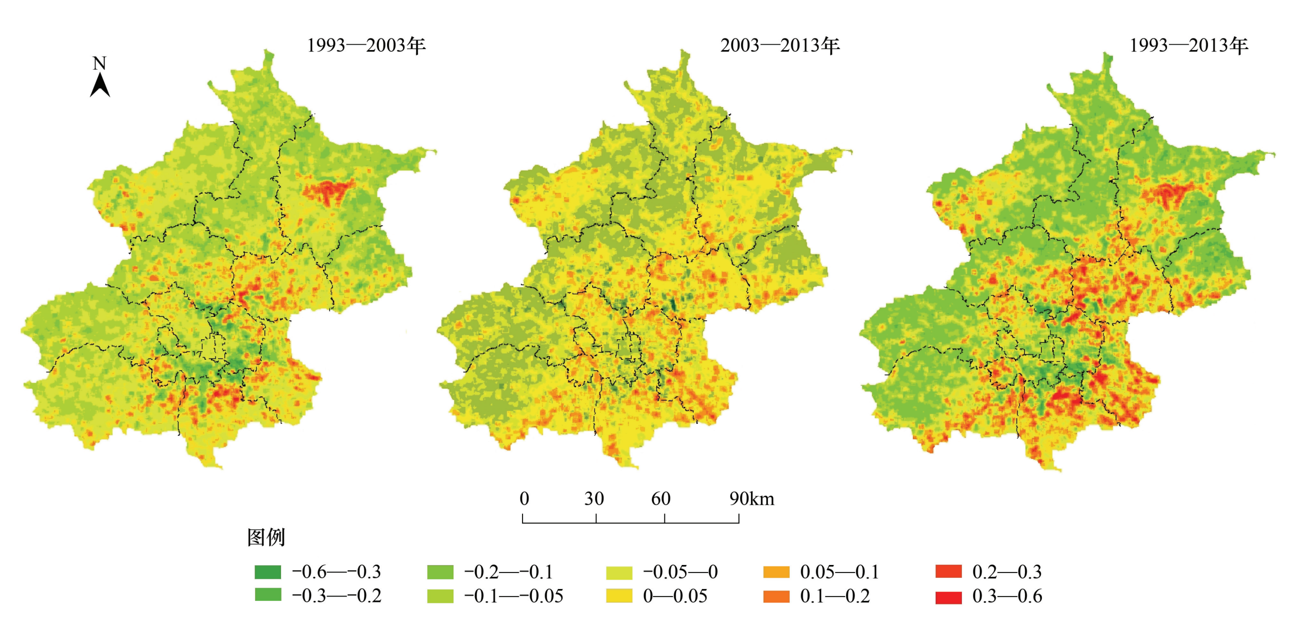


图 3 北京市景观破碎度指数时空变化格局

Fig.3 The variation of landscape fragmentation index on temporal and spatial in Beijing City

侵所致;山区林地的景观破碎度降低,说明北京的林地恢复工作取得了积极进展,但也说明山区林地二级景观类型可能趋于单一化。从时间序列来看,北京市的景观破碎度变化趋势在时间阶段上也明显表现出不同的变化特征,景观破碎度变化幅度上前 10 年大于后 10 年,且后一个阶段的变化主要是位于新兴城镇和交通道路枢纽附近。

将北京市景观破碎度指数等比例划分为 5 个等级进行面积统计(表 4),从中发现:破碎化程度位于等级两端的极低、高和极高程度区域的面积大幅增加,而中度和低度破碎化程度区域的面积连续降低,说明北京市景观破碎化格局分化,破碎化正在向两端发展,表现出"两极化"发展的趋势。

由表 2 和图 4 显示:北京市耕地总面积减少,但耕地内各破碎化程度等级的比例变化较小;林地的极低破碎化程度类型占比增加;草地 20 年间变化转折最大,前 10 年草地面积减少 21.62%,而后 10 年又增加了

78.09%,但在破碎化程度等级上草地表现出持续的两极化现象;水域和湿地表现出的破碎化增大的趋势;而建设用地的破碎化程度等级占比的变化幅度较小。

表 6　北京市不同破碎化程度的面积比

Table 6　Area ratio of different degrees of fragmentation in Beijing

年份 Year	极低 Very low/%	低 Low/%	中 Moderate/%	高 High/%	极高 Very High/%
1993	17.64	27.86	31.19	22.22	1.09
2003	25.86	24.45	28.14	20.67	0.87
2013	31.13	19.48	23.52	23.55	2.33

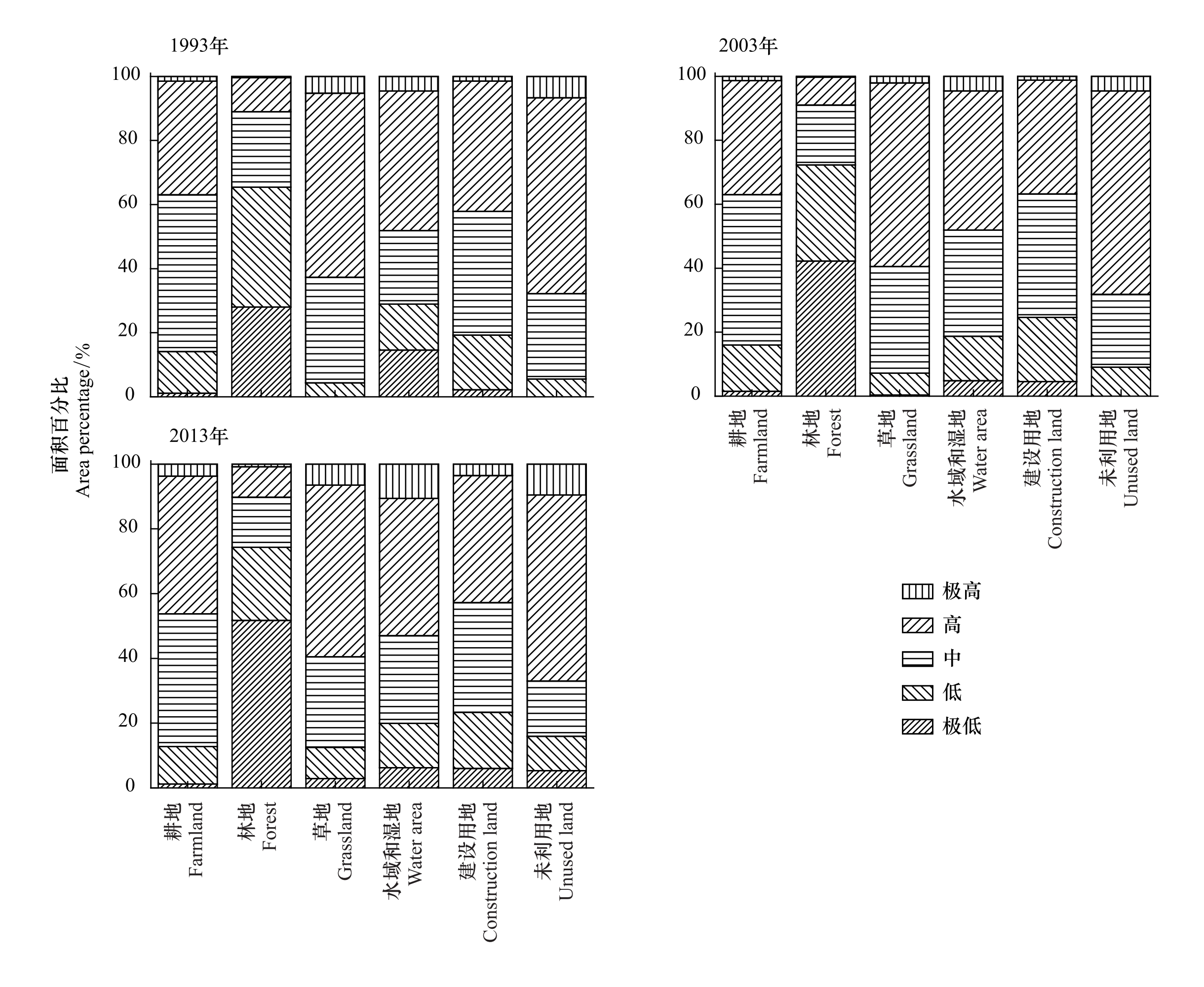


图 4　各景观类型的不同破碎化程度等级面积比

Fig.4　Area percentage of different landscape types on five fragmentation degrees

3.3　北京市景观破碎化的方向性特征

利用样线分析破碎化格局的方向性差异,图 5、图 6 显示:中心点的东南、西北方向上在 30 km 时其破碎度最高,其余方向方均在距离 20 km 时破碎度水平及其变化幅度最大,总体上北京市破碎化的空间格局上在方向上变化不明显,没有表现出方向性偏好。

3.4　北京市景观破碎化的距离关系特征

如图 7 所示,北京市近城郊区域内(距离城市中心点 55 km 内)随距离的增加破碎度均值先增加后减小。同时图 8、表 7 进一步显示其为倒“U”型二次函数关系,城郊交错区(距离城市中心点 20—35 km 范围内)景观破碎度最高,且最高点区域具有外延趋势。

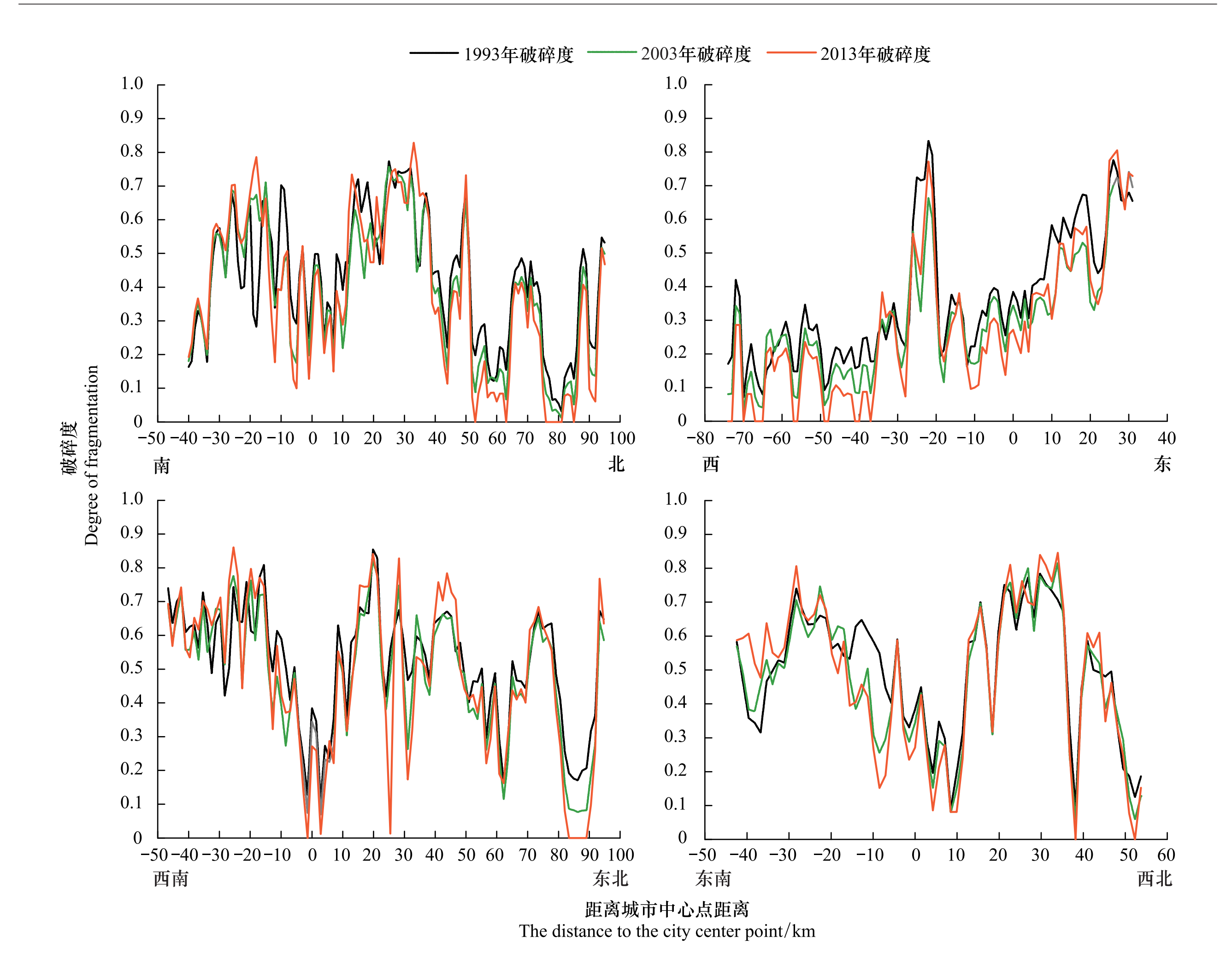


图 5 样线上的破碎度指数变化情况

Fig.5 The changes of fragmentation index on sample lines

表 7 景观破碎度指数与距离函数拟合情况

Table 7 The summary able about functions fitting for fragmentation index and distance

年份 Year	回归模型 The regression models	决定系数 R^2	F 值	显著性 Sig.
1993	$Y_1=0.3147+0.01905X_1-0.0003566X_1^2$	0.938	91.16	0.000
2003	$Y_2=0.2322+0.0233X_2-0.0004199X_2^2$	0.956	133.93	0.000
2013	$Y_3=0.1767+0.02898X_3-0.0005167X_3^2$	0.967	188.46	0.000

4 讨论与结论

4.1 讨论

当前,国内外对景观破碎化的研究主要利用景观指数模型结合空间遥感技术,进行区域景观破碎化格局的分析[28],近年来基于多时相的遥感影像研究景观格局的动态变化及模型构建[29-31]的方法取得了良好的效果,但对破碎化的研究缺乏较统一的计量方法[32],以往多数是采用景观指数的方法对研究区进行整体性的定量描述[33],而对景观破碎化的空间格局研究较少。目前,景观破碎化格局研究方法主要有:从形态学的角度研究破碎化过程的方法[34];基于有效网格评估[35]及网格连通性[36]的方法;采用核密度估算与移动窗口法的基于路网格局的方法[37];基于景观镶嵌度指数的森林破碎度动态模拟[38];以及在城市化背景下的基于斑块密度[39]形状指数等景观指数[40-42]的方法。本文综合多种空间分析方法,尤其是结合景观指数法和移动窗口

1993—2003年破碎度变化幅度　2003—2013年破碎度变化幅度　1993—2013年破碎度变化幅度

破碎度变化幅度 Variation of fragmentation

南　北　西　东　西南　东北　东南　西北

距离城市中心点距离
The distance to the city center point/km

图 6　样线上的破碎度指数变化幅度

Fig.6　The variation ranges of fragmentation index on sample lines

法的优点,使用多期时间序列遥感影像的两级景观分类体系获得的景观破碎度指标,其较高的空间精度能够满足空间格局和时间序列的变化特征研究。

景观格局指数可以定量反映其结构组成与空间分布的特征和景观格局的时空变化[43],目前景观格局指数很多,本文的景观破碎指标主要选取了景观聚合度(*AI*)指数、景观分离度(DIVISION)指数、景观斑块密度(*PD*)指数和景观丰富度(PRD)指数 4 个指标,这 4 个指数在一、二级景观类型数据间的相关性系数分别为:0.286、0.354、0.708 和 0.886,能分别体现两级数据间的差异性和相关性,也能反映景观破碎化格局状况[30,44-46],且在 2 km 半径的移动窗口尺度下的空间连续性较好[47-48],利于空间数据的计算、分析。

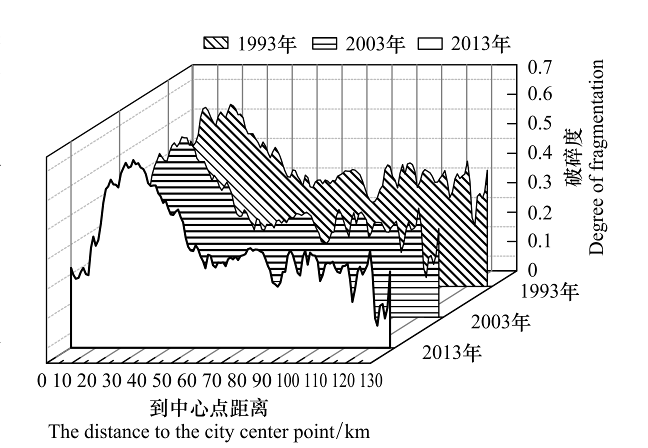


图 7　破碎度指数与到城市中心点的距离关系

Fig.7　The relationships between fragmentation index and distance to the center of the city

全市的景观格局和土地覆盖上的最显著变化为:耕

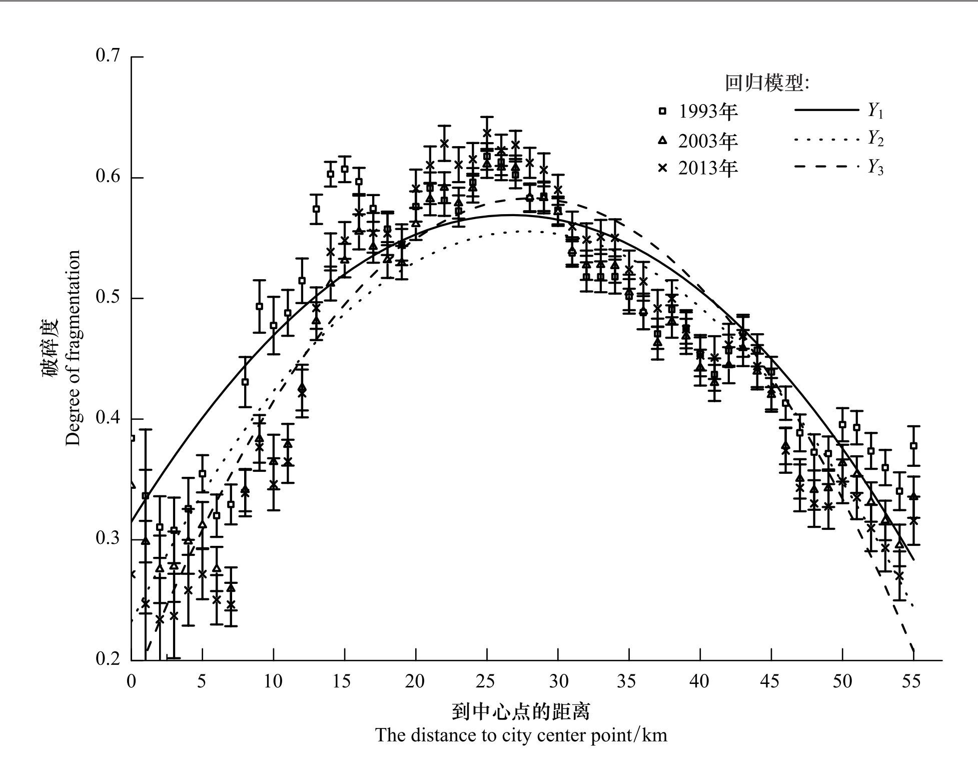


图 8 到中心点的距离与景观破碎度指数关系的二次函数拟合示意图(均值±标准误)

Fig.8 The quadratic functions about relationships between fragmentation index and distance

地面积大幅减少,建设用地面积快速增加,这与此前北京市景观格局的研究是一致的[19-20],近 20 a 来北京市进入快速城市化发展阶段,城市扩张,引起景观格局的剧烈改变[49],其中最显著的变化是景观破碎化增加,本文中图 1、表 3 也显示出自然、农田等连续的景观类型被建设用地等人工设施替代,且这些区域的景观破碎度提高,因此本文认为在城郊区域建设用地增加是导致城市景观破碎化增加的主要因素,但同时城区建设用地的增加致使高度城市化区域的景观同质化,建设用地增加也是城区景观破碎化减小的主要原因,说明在不同城市化梯度下的建设用地对景观破碎度的影响也是不同的。从全市的时空过程看,北京市破碎化格局的显著特点是区域间异质性增强和破碎化两极化趋势,具有明显的区位特征,山地林区和核心城区出现明显的单一化趋势,而城郊地区的破碎化异质性增强,有研究表明景观类型和土地覆盖结构的改变是造成区域景观破碎化格局改变的直接原因[50],其中山地林区破碎度降低有可能是人工林的单一化造成的[51]。

空间分布上,部分区域的破碎化的空间格局具有明显的点带状分布的特征,这可能是受道路的影响[52-53],说明道路对破碎化也具有一定的影响。同时图 5、图 6 显示出北京市景观破碎化格局在平原地区没有方向性偏好,这与其城市化的扩张呈现“摊大饼式”[54]在地理格局上是一致的,可以认为北京市景观破碎化的背后驱动因子是城市化,也说明在城市扩张的距离效应对破碎化格局影响较大,破碎化与距离的变化特征表现出北京的城市发展的“层圈结构”,经分析表明在距离城市中心点 20—35 km 范围的城郊交错区景观破碎度指数最高,而这一区域又是城市核心区和郊区生态区的关键区域[7],景观格局的破碎化,造成生境碎片化,进而影响到生物多样性的保护工作,所以这一区域应该是此后生态防护的重点区域[55]。

4.2 结论

利用移动窗口法和空间主成分分析法可以得到的能够反映景观破碎化程度的综合综合指标,而且基于两级景观分类数据得到的破碎化指标,能充分表现出一级景观内部的差异性和二级景观间的相关性,同时本方法还可以根据研究目标,选择不同的尺度和指标组合,具有良好的综合性和适应性,能够准确的反映区域的破碎化时空格局状况,可以应用在破碎化格局等的研究方面。

(1)从 1993 年至 2013 年北京市正经历快速城市化过程,其中,最显著变化为城区快速扩展,建设用地大

幅增加,20 a 间建设用地面积增加 1000.8 km^2,增长 47.14%,耕地面积减少 21.86%,且建设用地的增加主要来源于耕地和林地;从空间格局上看,北京市城市化呈现以主城区为核心向外扩展的“摊大饼”模式。在快速发展阶段中北京市景观结构和格局也发生了较大变化,出现明显的破碎化趋势,景观斑块数从 20986 个增加到 24765 个,增加 15.26%,而景观斑块的平均面积减小 15.35%。

(2)北京市的景观破碎化格局在时间上表现为破碎化加剧的趋势,20 a 间密云水库库区和通州区西部的景观破碎度增加幅度最大;同时在空间上呈现高度的区位特征,不同区域的差异性较大,具有明显的异质性和复杂性,主要表现为:北京市景观破碎化格局呈现“两极化”的发展趋势,核心城区和山地林区的景观破碎度持续降低,新兴城区和城郊区域景观破碎度增大,同时低破碎化区域和高破碎化区域的面积持续扩大。从整体的分布格局上看,北京市景观破碎度大小主要受建设用地的影响,即城市化是导致北京市景观格局时空变化的主要因素。

(3)北京的景观破碎化格局的时空变化在平原区域没有明显的方向性偏好,但却具有明显的距离效应,景观破碎度指数与到城市中心点的距离呈现显著的倒“U”型函数关系,其中,2013 年的破碎度距离函数为:$Y_3=0.1767+0.02898X_3-0.0005167X_3^2$。同时,其破碎化格局体现出北京的城市发展的“层圈结构”模式,老城区破碎度降低,建设用地平均斑块面积增加,而新兴城区破碎化程度较高,在城市扩展区,尤其是 20—35 km 处的景观破碎度化程度最大。

参考文献(References):

[1] 张秋菊, 傅伯杰, 陈利顶. 关于景观格局演变研究的几个问题. 地理科学, 2003,23(3): 264-270.

[2] 李伟峰, 欧阳志云, 王如松, 王效科. 城市生态系统景观格局特征及形成机制. 生态学杂志, 2005,24(4): 428-432.

[3] 赵文武, 房学宁. 景观可持续性与景观可持续性科学. 生态学报, 2014,34(10): 2453-2459.

[4] Wu JG. Urban sustainability: an inevitable goal of landscape research. Landscape Ecology, 2010, 25(1): 1-4.

[5] 吴波, 慈龙骏. 毛乌素沙地景观格局变化研究. 生态学报, 2001,21(2): 191-196.

[6] 李俊生, 高吉喜, 张晓岚, 郑筱梅. 城市化对生物多样性的影响研究综述. 生态学杂志, 2005,24(8): 953-957.

[7] 毛齐正, 马克明, 邬建国, 唐荣莉, 张育新, 罗上华, 宝乐, 蔡小虎. 城市生物多样性分布格局研究进展. 生态学报, 2013,33(4): 1051-1064.

[8] Filgueiras B K C, Tabarelli M, Leal I R, Vaz-de-Mello F Z, Iannuzzi L. Dung beetle persistence in human-modified landscapes: Combining indicator species with anthropogenic land use and fragmentation-related effects. Ecological Indicators, 2015, 55: 65-73.

[9] Van Langevelde F. Modelling the negative effects of landscape fragmentation on habitat selection. Ecological Informatics, 2015, 30: 271-276.

[10] Mitchell M G E, Suarez-Castro A F, Martinez-Harms M, Maron M, McAlpine C, Gaston K J, Johansen K, Rhodes J R. Reframing landscape fragmentation's effects on ecosystem services. Trends in Ecology & Evolution, 2015, 30(4): 190-198.

[11] Jaeger J A G, Bertiller R, Schwick C, Kienast F. Suitability criteria for measures of urban sprawl. Ecological Indicators, 2010, 10(2): 397-406.

[12] Jaeger J A G, Bertiller R, Schwick C, Müller K, Steinmeier C, Ewald K C, Ghazoul J. Implementing Landscape Fragmentation as an Indicator in the Swiss Monitoring System of Sustainable Development (Monet). Journal of Environmental Management, 2008, 88(4): 737-751.

[13] Shrestha M K, York A M, Boone C G, Zhang S. Land fragmentation due to rapid urbanization in the Phoenix Metropolitan Area: Analyzing the spatiotemporal patterns and drivers. Applied Geography, 2012, 32(2): 522-531.

[14] Tian Y H, Jim C Y, Tao Y, Shi T. Landscape ecological assessment of green space fragmentation in Hong Kong. Urban Forestry & Urban Greening, 2011, 10(2): 79-86.

[15] 陈利顶, 孙然好, 刘海莲. 城市景观格局演变的生态环境效应研究进展. 生态学报, 2013,33(4): 1042-1050.

[16] 马克明, 傅伯杰. 北京东灵山地区景观格局及破碎化评价. 植物生态学报, 2000,24(3): 320-326.

[17] 李灿, 张凤荣, 朱泰峰, 曲衍波. 大城市边缘区景观破碎化空间异质性——以北京市顺义区为例. 生态学报, 2013, 33(17): 5363-5374.

[18] 国巧真, 蒋卫国, 李京, 陈云浩, 易文斌. 1985-2006 年北京市海淀区城市景观格局演变及驱动因素分析. 城市环境与城市生态, 2008,21(1): 18-21.

[19] 李伟, 贾宝全, 王成, 郄光发. 北京市景观格局动态变化. 东北林业大学学报, 2010,38(4): 37-41.

[20] 孙亚杰, 王清旭, 陆兆华. 城市化对北京市景观格局的影响. 应用生态学报, 2005,16(7): 1366-1369.

[21] 王佳, 熊妮娜, 董斌, 闫秀婧, 隋宏大, 冯仲科. 基于 RS 的近 20 年北京市土地利用景观格局变化分析. 北京林业大学学报, 2008,30(S1): 83-88.

[22] 欧阳志云, 张路, 吴炳方, 李晓松, 徐卫华, 肖燚, 郑华. 基于遥感技术的全国生态系统分类体系. 生态学报, 2015,35(2): 219-226.

[23] Wang Z, Huang N, Luo L, Li X, Ren C, Song K, Chen J. Shrinkage and fragmentation of marshes in the West Songnen Plain, China, from 1954 to 2008 and its possible causes. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2011, 13(3): 477-486.

[24] 潘竟虎，刘晓. 基于空间主成分和最小累积阻力模型的内陆河景观生态安全评价与格局优化——以张掖市甘州区为例. 应用生态学报，2015,26(10)：3126-3136.
[25] Shahdoosti H R，Ghassemian H. Combining the spectral PCA and spatial PCA fusion methods by an optimal filter. Information Fusion，2016，27：150-160.
[26] 仇江啸，王效科，逯非，欧阳志云，郑华. 城市景观破碎化格局与城市化及社会经济发展水平的关系——以北京城区为例. 生态学报，2012，32(9)：2659-2669.
[27] 李栋科，丁圣彦，梁国付，赵清贺，汤茜，孔令华. 基于移动窗口法的豫西山地丘陵地区景观异质性分析. 生态学报，2014,34(12)：3414-3424.
[28] 赵锐锋，姜朋辉，赵海莉，樊洁平. 黑河中游湿地景观破碎化过程及其驱动力分析. 生态学报，2013，33(14)：4436-4449.
[29] 李明诗，刘图强，潘洁. 森林破碎化的社会经济驱动力分析——以美国阿拉巴马州为例. 东北林业大学学报，2010，38(6)：57-59.
[30] 冯永玖，刘艳，周茜，韩震. 景观格局破碎化的粒度特征及其变异的分形定量研究. 生态环境学报，2013,22(3)：443-450.
[31] Gibbes C，Southworth J，Keys E. Wetland conservation：Change and fragmentation in Trinidad's protected areas. Geoforum，2009，40(1)：91-104.
[32] 陈利顶，李秀珍，傅伯杰，肖笃宁，赵文武. 中国景观生态学发展历程与未来研究重点. 生态学报，2014,34(12)：3129-3141.
[33] 由畅，周永斌，于丽芬. 景观破碎化数量分析方法概述. 中国农学通报，2006,22(5)：146-151.
[34] Doko A，Veselaj E，Kopali A，Rroco E，Gruda N. Analysis of Rural Landscape and Land Fragmentation Through GIS in the Gjocaj Commune，Albania. Gesunde Pflanzen，2015，67(3)：131-139.
[35] Pătru-Stupariu I，Stupariu M S，Tudor C A，GrăDinaru S R，Gavrilidis A，Kienast F，Hersperger A M. Landscape fragmentation in Romania's Southern Carpathians：testing a European assessment with local data. Landscape and Urban Planning，2015，143：1-8.
[36] Wei Y P，Zhang Z Y. Assessing the fragmentation of construction land in urban areas：an index method and case study in Shunde，China. Land Use Policy，2012，29(2)：417-428.
[37] 蔡雪娇，吴志峰，程炯. 基于核密度估算的路网格局与景观破碎化分析. 生态学杂志，2012，31(1)：158-164.
[38] 任芯雨，吕莹莹，李明诗. 基于景观镶嵌度指数的森林破碎化模式动态——以美国俄勒冈州为例. 应用生态学报，2014，25(8)：2317-2326.
[39] Guneroglu N，Acar C，Dihkan M，Karsli F，Guneroglu A. Green corridors and fragmentation in South Eastern Black Sea coastal landscape. Ocean & Coastal Management，2013，83：67-74.
[40] Peng J，Xie P，Liu Y，Ma J. Urban thermal environment dynamics and associated landscape pattern factors：A case study in the Beijing metropolitan region. Remote Sensing of Environment，2016，173：145-155.
[41] Bereitschaft B，Debbage K. Regional variations in urban fragmentation among U.S. metropolitan and megapolitan areas. Applied Spatial Analysis and Policy，2014，7(2)：119-147.
[42] Munroe D K，Croissant C，York A M. Land use policy and landscape fragmentation in an urbanizing region：Assessing the impact of zoning. Applied Geography，2005，25(2)：121-141.
[43] 唐秀美，陈百明，路庆斌，方琳娜. 城市边缘区土地利用景观格局变化分析. 中国人口·资源与环境，2010，20(8)：159-163.
[44] 张天新，刘凤. 城市边缘区空间破碎化的指标体系及其应用研究——以北京市海淀区上地、清河街道为例. 城市发展研究，2014,21(5)：24-29.
[45] Jiang P H，Cheng L，Li M C，Zhao R F，Huang Q H. Analysis of landscape fragmentation processes and driving forces in wetlands in arid areas：a case study of the middle reaches of the Heihe River，China. Ecological Indicators，2014，46：240-252.
[46] 巩杰，孙朋，谢余初，钱大文，贾珍珍. 基于移动窗口法的肃州绿洲化与景观破碎化时空变化. 生态学报，2015,35(19)：6470-6480.
[47] Wu J G. Effects of changing scale on landscape pattern analysis：scaling relations. Landscape Ecology，2004，19(2)：125-138.
[48] 王艳芳，沈永明，陈寿军，吴德力. 景观格局指数相关性的幅度效应. 生态学杂志，2012,31(8)：2091-2097.
[49] Kadish J，Netusil N R. Valuing vegetation in an urban watershed. Landscape and Urban Planning，2012，104(1)：59-65.
[50] 张海龙，蒋建军，解修平，吴宏安，张丽. 近 25 年来西安地区土地利用变化及驱动力研究. 资源科学，2006,30(4)：71-77.
[51] 张瑜，王金增，汪力. 北京低山侧柏人工林资源分布与生长状况分析. 林业资源管理，2011,(6)：73-78.
[52] 刘佳妮，李伟强，包志毅. 道路网络理论在景观破碎化效应研究中的运用——以浙江省公路网络为例. 生态学报，2008,28(9)：4352-4362.
[53] 李俊生，张晓岚，吴晓莆，全占军，范俊韬. 道路交通的生态影响研究综述. 生态环境学报，2009,18(3)：1169-1175.
[54] 徐小黎，史培军，何春阳. 北京和深圳城市化比较研究. 地球科学进展，2002,17(2)：221-228.
[55] 徐溯源，沈清基. 城市生物多样性保护——规划理想与实现途径. 现代城市研究，2009,(9)：12-18.